

## 실리콘 웨이퍼 미세 표면결합의 광산란 특성 평가

하태호\* (한국기계연구원), 송준엽 (한국기계연구원),  
Takashi Miyoshi (Osaka Univ.), Yasuhiro Takaya (Osaka Univ.)

### Light Scattering Characteristics of Defects on Silicon Wafer Surface

T. H. Ha\*, J. Y. Song (KIMM),  
T. Miyoshi, Y. Takaya (Mechanical Eng. Dept., Osaka Univ.)

#### ABSTRACT

Light scattering measurement system that can evaluate light scattering characteristic from defects on silicon wafer surface has been developed. The system uses Ar<sup>+</sup> laser as an illumination source, and a highly sensitive photomultiplier tube (PMT) for detecting scattered light from defects. Unlike with conventional measurement system, our system has ability to measure scattered light pattern from wide range of scattering angles with changeable incidence condition. It is shown that our developed system is effective to discriminate the types and sizes of defects from basic experimental results using a microscratch and a PSL sphere.

**Key Words :** Silicon Wafer (실리콘 웨이퍼), Defect (결합), Light Scattering (광산란), Measurement (측정)

#### 1. 서론

반도체 제조공정에 있어서 높은 생산성 및 신뢰성을 확보를 위해서는 결합검출 및 평가기술의 개발이 필수 불가결하다. 현재, 실리콘 웨이퍼의 결합 검사 장비는 크게 Off-line review 장비 및 In-line 검사 장비로 나누어 진다. SEM, TEM 및 SPM으로 대변되는 Off-line review 장비는 나노미터 레벨의 고분해능을 가지고 있으나, 측정 및 평가에 많은 시간을 요함으로 신속한 피드백을 요구하는 In-line 검사에는 적합하지 않다. 한편 In-line 검사장비에는 E-beam 검사장비와 Brightfield 검사장비 및 Darkfield 검사장비와 같은 광산란을 이용한 검사장비가 있다<sup>1</sup>. 이와 같은 장비는 진공환경과 같은 특수한 측정조건을 필요하지 않을 뿐 아니라 높은 수율을 가지므로 생산라인의 모니터링에 주로 사용되고 있다<sup>2</sup>.

광산란을 이용한 결합검출의 경우, 최적화된 결합검출 및 평가를 행하기 위해서는 검출 대상의 종류, 크기와 그 결합이 존재하는 실리콘 웨이퍼 기판 등에 따른 산란특성을 파악할 필요가 있다. 종

래의 광산란 측정법은 다수의 센서를 고정시켜, 각각의 센서로 검출된 이산적인 산란광 강도의 값만을 검출함으로, 다양한 크기와 종류의 결합으로부터의 그 특유의 광산란 특성을 평가하여 결합검출을 위해 최적화된 광산란 측정법을 개발하는 데에는 충분하지 못하다. 본 논문에서는 Chemical Mechanical Polishing (CMP) 결합과 같은 새로운 형태의 실리콘 웨이퍼 표면결합 검출 및 평가에 최적화된 광산란 측정법을 개발하기 위하여 결합으로부터의 3 차원적인 산란광 패턴의 측정이 가능한 시스템을 개발하여, 그 기초 광산란 특성을 조사하였다.

#### 2. 3 차원 산란광 패턴 자동 측정 시스템

##### 2.1 시스템의 구성

Fig. 1 은 본 연구에 사용된 입사방향과 광의 산란 방향을 정의한 좌표계를 나타낸다. 레이저의 입사각( $\theta_0$ )은 Z축을 기준으로 X-Z 평면상의 각으로 정의하였다. 또한, 산란광의 방향은 방위각 방향의  $\theta_s$  및 극각 방향의  $\phi_s$ 로 각각 정의 하였다.

실제 개발한 3 차원 산란광 패턴 자동 측정 시스템의 개략도를 Fig. 2 에 나타내었다. 본 시스템은 파장 488nm 의  $Ar^+$  레이저를 광원으로 채택하였으며 레이저는 옵티컬 파이버를 통하여, 조사가 이루어지는 레이저 조사헤드로 유도된다. 이 헤드를 전동 회전 스테이지 R3 (Sigma Koki, CRS-120, 위치정도:  $< 0.03^\circ$ )를 이용하여 스캔 시킴으로써 시료 스테이지 상의 샘플에 자유로운 각도로 레이저 조사가 가능하게 된다. 또한, 조사헤드에 파장판 ( $\lambda/2, \lambda/4$ )을 선택적으로 배치함으로써 입사광의 편광상태를

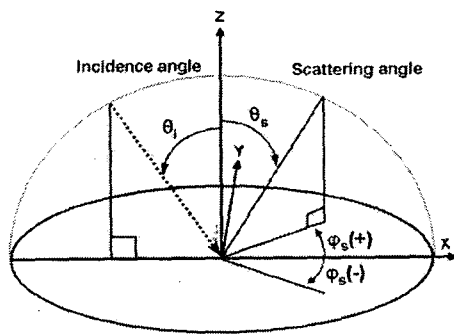


Fig. 1 Coordinate system

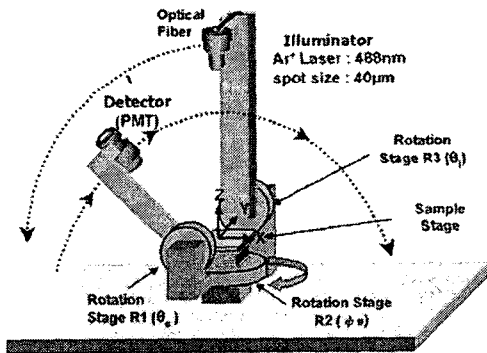


Fig. 2 Schematic diagram of the system

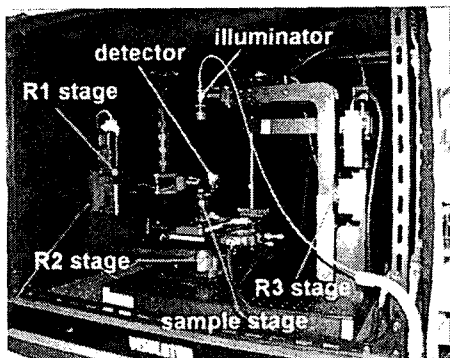


Fig. 3 Picture of the System

선택 가능케 하여 측정하고자 하는 대상의 검출에 유효한 입사조건을 찾아낼 수 있다.

입사에 따른 산란광의 검출기로는 미세 결함으로부터의 미약한 산란광의 검출이 가능한 고감도의 PMT (Hamamatsu Photonics, R5600)를 채용하였다. 검출기 헤드는 2 대의 전동 회전스테이지 R1 와 R2 (Sigma Koki, CRS-120, 위치정도:  $< 0.03^\circ$  와 회전에 의해 그 배치를 3 차원적으로 이동시켜가며 측정을 행함으로써, 결함으로부터 공간적으로 퍼져가는 산란광 강도 패턴을 측정할 수 있다. 시료 스테이지는 시료의 고정 및 레이저 빔의 조사위치를 결정하며, 틸트 스테이지, 회전 스테이지, Z 스테이지, 전동 XY 스테이지(Sigma Koki, SGSP(MS)20-85(XY))로 구성되어 있다. 입사각 설정 및 일련의 산란광 측정은 컴퓨터에 의해 전자동으로 이루어 진다. 또한, 시스템은 산란체 확인을 위한 현미경 유닛 (Mitsutoyo, VMU-1H 378-501, 50X)을 포함하고 있다.

Fig. 3 은 개발한 시스템의 실제 사진을 나타낸다. 이 시스템은 클린룸 내에 설치되어 있으며 산란체로부터의 산란광 이외의 외부로부터의 광을 차단하기 위해 암막으로 차폐되어 있다.

## 2.2 3 차원 산란광 측정

본 시스템의 최대 특징인 3 차원 산란광 측정은 검출기 헤드를 탑재하고 있는 두 대의 전동 회전스테이지(R1 과 R2 스테이지)의 회전에 의해 이루어진다. 검출기 헤드는 R1 회전스테이지에 탑재되어 있으며, 이는 다시 R2 회전스테이지상에 적재되어 있다. 이 두 스테이지에 의한 검출기 헤드의 스캔과 그에 따른 3 차원 자동 산란광 측정순서에 대한 개략도를 Fig. 4 에 나타내었다.

먼저, 헤드가 직접 연결된 R1 전동 회전 스테이지를 시료를 중심으로  $\theta_s$  방향으로  $0^\circ$  에서  $180^\circ$  까지 스캔 함으로써 한 단면의 산란 패턴을 측정하게

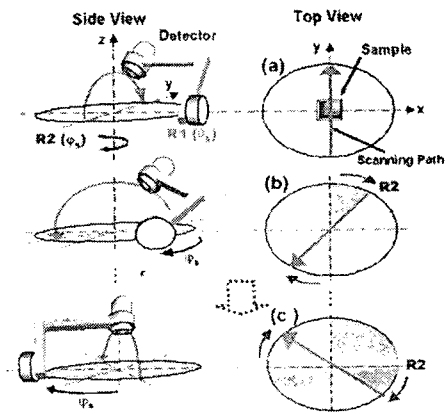


Fig. 4 Procedure for 3D measurement

된다 [Fig. 4 (a)]. 다음으로 R2 전동 회전 스테이지를  $\varphi_s$  방향으로 쉬프트시킨 후, 전술한 방법과 동일하게 R1 전동 회전 스테이지를 스캔시켜 산란 패턴을 취득한다 [Fig. 4 (b)]. 이와 같이 두 대의 전동 회전 스테이지의 연속적인 스캔을 통해 3 차원 산란광 분포 ( $\theta_s$ - $\varphi_s$ ) 의 측정이 가능하게 된다 [Fig. 4 (c)].

### 3. 산란광 측정 실험 결과

#### 3.1 실험 시료

본 연구에서는 다층구조를 가지는 반도체 칩 제조에 필수 불가결한 CMP공정에서 발생하는 미세 표면결함을 측정 대상으로 하였다. CMP공정이란 실리콘 웨이퍼상에 다층구조의 미세 회로패턴을 형성 시, 이전 층의 회로 패턴에 의한 발생하는 요철부분으로 인하여 그 다음 층의 회로패턴 형성 시 발생하는 초점심도의 문제를 해결하기 위한 화학적·기계적인 연마를 통한 평탄화 가공을 말한다<sup>3</sup>. CMP 공정에서 발생하는 전형적이며 관리대상이 되는 결함으로는 마이크로 스크래치와 이물질들을 들 수 있다. 이들 CMP가공 결함은 막이 형성되어 있지 않은 Bare 웨이퍼와는 달리 기판 표면에 절연을 위한 투명 산화막상에 존재함으로 레이저 조사 시, 막에 의한 간섭현상의 영향을 받아 같은 크기의 결함이라고 해도 산화막의 두께에 의해 그 산란특성이 달라질 수 있어 최적화된 측정법의 개발이 시급한 결함의 하나이다.

개발한 시스템의 유효성과 결함종류에 따른 3 차원 광산란 특성평가를 위하여 전형적인 CMP 가공결함인 마이크로 스크래치와 PSL 입자를 이용한

Table. 1 Sizes of the defects

Defects type	Size (nm)	Std.dev (nm)
Microscratch	Depth 71 Width 287	-
PSL sphere	Diameter 212	2.9

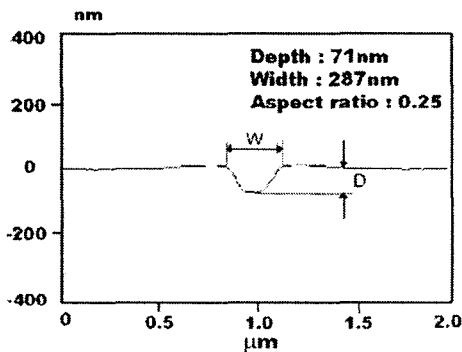


Fig. 5 Cross-sectional Profile of the microscratch

기초 실험을 행하였다. Table. 1 은 본 연구에 사용한 시료의 종류와 그 크기를 나타낸다. 깊이 71 nm, 폭 287 nm 의 마이크로 스크래치는 FIB 가공 (Seiko, SMI9200)에 의하여 형성하였다. Fig. 5 에 가공된 마이크로 스크래치의 AFM 단면 프로파일을 표시하였다. Aspect 비 0.25 로 실제의 CMP 가공에 의해 발생하는 스크래치와 같이 부드러운 표면 프로파일을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 이물질로서는 직경 212 nm 의 Polystyrene Latex 표준입자 (PSL)를 채택하였다. 각각의 결함은 두께 500 nm, 표면 거칠기 1.7 nm 의 산화막이 입혀진 실리콘 웨이퍼 상에 가공 및 산포시켰다.

#### 3.2 실험 결과

Fig. 6 은 마이크로 스크래치에 대하여 수직입사 시의 3 차원 산란광 패턴 그래프를 나타낸다. 마이크로 스크래치는 Y축에 평행하게 배치되어 있으며, 그 산란광 강도를 Gray scale로 표시하였다. 그래프로부터 극각방향( $\theta_s$ )으로  $\pm 30^\circ$  의 산란광이 검출되지 않았음을 알 수 있다. 이는 검출기 헤드가  $\theta_s = 0^\circ$  근방에서 입사 레이저를 차폐함으로 발생한다. 그러나, 그 이외의 넓은 영역에서 산란광 패턴의 측정이 가능함을 알 수 있다. 산란광 패턴으로부터 마이크로 스크래치의 경우, 마이크로 스크래치의 길이 방향에 수직방향으로 산란패턴이 존재함을 알 수 있다. 특히 방위각방향 ( $\varphi_s$ ) 으로  $\pm 24^\circ$  이내에 산란광이 집중적으로 존재하고 있다.

결함의 종류에 따른 광산란 특성을 평가하기 위하여 수직입사 시의 PSL 입자에 대한 실험을 행하여, 그 3 차원 산란광 패턴 그래프를 Fig. 7 에 표시하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 마이크로 스크래치의 산란광 패턴과는 상이 함을 알 수 있다. 즉, PSL 입자를 중심으로 대칭적인 형태( $\theta_s \cong 64^\circ$ , 실선으로 표시)로 산란광 패턴이 존재함을 알 수 있다.

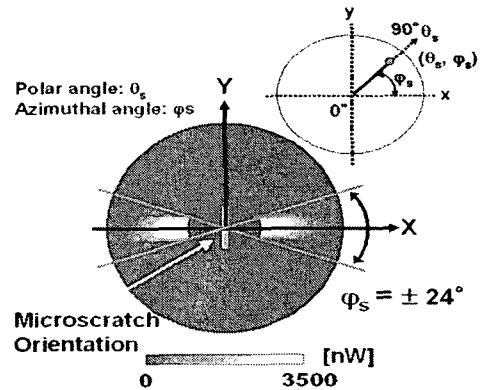


Fig. 6 3D scattering pattern from the microscratch

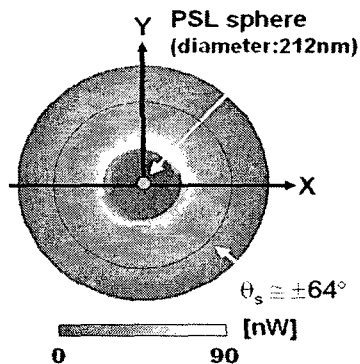


Fig. 7 3D scattering pattern from the PSL sphere

#### 4. 결론

Ar<sup>+</sup> 레이저를 광원으로 하며 고감도의 PMT를 검출기로 사용하여, 실리콘 웨이퍼상의 미세결함으로부터의 3 차원 산란 패턴을 자동으로 측정가능한 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 입사각과 입사광의 편광상태 등의 입사조건을 조정 가능하게 설계되었으며, 두 대의 전동 회전 스테이지를 이용하여 검출기 헤드의 위치를 3 차원적으로 바꾸어 가며 측정을 행함으로 3 차원 산란광 강도 패턴을 취득이 가능하게 된다.

기초실험의 결과, 종래의 검사장비가 국한된 영역의 이산적인 산란광 강도 값만을 측정 할 수 있음에 비해, 본 시스템은 넓은 영역에서의 산란광의 측정 및 패턴 측정이 가능하였다. 실리콘 웨이퍼상에 존재하는 결함의 종류에 따른 3 차원 광산란 특성 평가의 결과, 수직입사 시 마이크로 스크래치로 부터의 산란패턴은 마이크로 스크래치의 길이 방향에 수직방향으로만 존재하며, 이에 반해 PSL 입자의 경우는 극각방향( $\theta_s$ )으로 대칭적으로 존재함을 알 수 있다. 이와 같이 결함의 종류 및 사이즈에 따른 산란패턴을 분석함으로써 최적화된 광산란 검사법의 개발이 가능하게 된다.

#### 참고문헌

1. The Art of Defect War, (2001), KLA-Tencor
2. Stover, J., Optical Scattering: Measurement and Analysis? (1995), SPIE Optical Engineering Press
3. 土井俊郎, 詳説半導体 CMP 技術, (2001), 工業調査会